



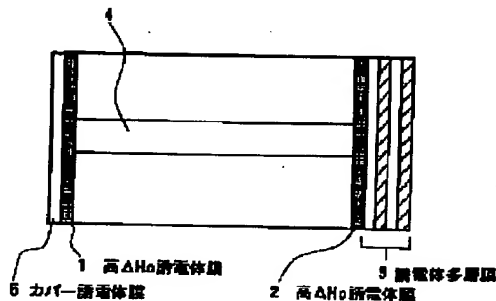
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000022269 A**(43) Date of publication of application: **21 . 01 . 00**(51) Int. Cl. **H01S 5/30**(21) Application number: **10187525**(71) Applicant: **NEC CORP**(22) Date of filing: **02 . 07 . 98**(72) Inventor: **ISHIKAWA MAKOTO****(54) BLUE SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide GaN based semiconductor laser element highly reliable even in high output operation.

SOLUTION: In a GaN based semiconductor laser having an emission stripe region 4, dielectric films 1, 2 of oxide or fluoride having high normal temperature standard generation enthalpy ΔH_0 are formed on the end face of a resonator, a cover dielectric film 5 of Al_2O_3 , Si_3N_4 or SiO_2 is formed on the front face and a multiplayer dielectric film 3 having high and low refractive index layers is formed on the rear surface. Assuming the chemical formula of the dielectric film 1, 2 is MnOm (oxide) in MnFm (fluoride) and standard generation enthalpy under normal temperature is ΔH_0 , $\Delta H_0/m < -456$ kJ/mol is satisfied for oxide and $\Delta H_0/m < -434$ kJ/mol is satisfied for fluoride.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-22269

(P2000-22269A)

(43) 公開日 平成12年1月21日 (2000.1.21)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/30

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

テーマコード (参考)

5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数14 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-187525

(22) 出願日 平成10年7月2日 (1998.7.2)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 石川 信

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100070219

弁理士 若林 忠 (外4名)

Fターム (参考) 5F073 AA74 AA77 AA83 BA06 CA07

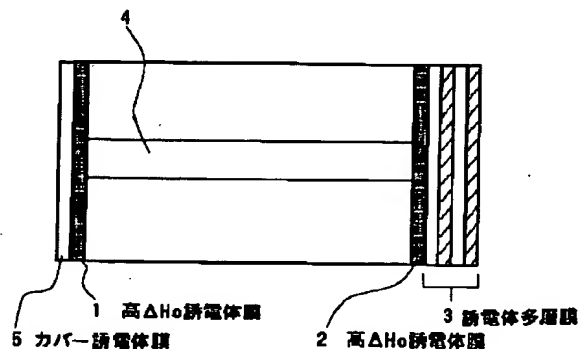
CB05 CB19 CB20 EA28

(54) 【発明の名称】 青色半導体レーザ素子

(57) 【要約】

【課題】 高出力動作においても信頼性の高いGaN系半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 発光ストライプ領域4を有するGaN系半導体レーザにおいて、共振器端面に、高い常温標準生成エンタルピー ΔH_0 を有する酸化物又はフッ化物からなる誘電体膜1、2を形成し、さらに前面に Al_2O_3 、 Si_3N_4 又は SiO_2 からなるカバー誘電体膜5を、裏面には高屈折率層と低屈折率層からなる誘電体多層膜3を形成する。前記誘電体膜1、2の化学式を M_nO_m (酸化物) 又は M_nF_m (フッ化物) とし、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 とした場合、酸化物の場合では $\Delta H_0/m < -456 kJ/mol$ を満たし、フッ化物の場合では $\Delta H_0/m < -434 kJ/mol$ を満たすようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 共振器端面の少なくとも一方に、酸化物誘電体の保護膜が形成されたGaN系半導体レーザ素子において、前記酸化物誘電体の化学式を M_nO_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 としたとき、 $\Delta H_0/m < -456 \text{ kJ/mol}$ を満たすことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 共振器端面の少なくとも一方に、酸化物誘電体膜1と誘電体膜2が順次積層された2層の保護膜が形成されたGaN系半導体レーザ素子において、前記酸化物誘電体膜1の化学式を M_nO_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 としたとき、 $\Delta H_0/m < -456 \text{ kJ/mol}$ を満たし、かつ前記誘電体膜2が400nm帯の発振光に対して光学的に透明な誘電体材料からなることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項3】 前記誘電体膜2が Al_2O_3 、 Si_3N_4 又は SiO_2 からなることを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】 共振器端面の少なくとも一方に、酸化物誘電体膜と多層の誘電体膜が順次形成されたGaN系半導体レーザ素子において、前記酸化物誘電体の化学式を M_nO_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 としたとき、 $\Delta H_0/m < -456 \text{ kJ/mol}$ を満たし、かつ前記多層の誘電体膜が高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層したものであり、高屈折率層が TiO_2 、 ZrO_2 又は HfO_2 であり、低屈折率層が Al_2O_3 、 SiO_2 又は Si_3N_4 であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項5】 前記酸化物誘電体が Al_2O_3 、 Sc_2O_3 、 Y_2O_3 、 Er_2O_3 、 Tm_2O_3 、 Ho_2O_3 、 Lu_2O_3 、 Tb_2O_3 、 Sm_2O_3 、 Gd_2O_3 、 Yb_2O_3 、 Pr_2O_3 のいずれかであることを特徴とする請求項1、2、3又は4記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 共振器端面の少なくとも一方に、フッ化物誘電体の保護膜が形成されたGaN系半導体レーザにおいて、前記フッ化物誘電体の化学式を M_nF_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 とした時、 $\Delta H_0/m < -434 \text{ kJ/mol}$ を満たすことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項7】 共振器端面の少なくとも一方に、フッ化物誘電体膜1と誘電体膜2が順次積層された2層の保護膜が形成されたGaN系半導体レーザ素子において、前記フッ化物誘電体膜1の化学式を M_nF_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 としたとき、 $\Delta H_0/m < -434 \text{ kJ/mol}$ を満たし、かつ前記誘電体膜2が400nm帯の発振光に対して光学的に透明な誘電体材料からなることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項8】 前記誘電体膜2が Al_2O_3 、 Si_3N_4 又は SiO_2 からなることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザ素子。

【請求項9】 共振器端面の少なくとも一方に、フッ化物誘電体膜と多層の誘電体膜が順次形成されたGaN系半導体レーザ素子において、

前記フッ化物誘電体の化学式を M_nF_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 としたとき、 $\Delta H_0/m < -434 \text{ kJ/mol}$ を満たし、かつ前記多層の誘電体膜が高屈折率層と低屈折率層を交互に積層したものであり、高屈折率層が TiO_2 、 ZrO_2 又は HfO_2 であり、低屈折率層が Al_2O_3 、 SiO_2 又は Si_3N_4 であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項10】 前記フッ化物誘電体が ThF_4 、 HfF_4 、 ZrF_4 、 SmF_3 、 YF_3 、 HoF_3 、 NdF_3 、 ScF_3 のいずれかであることを特徴とする請求項6、7、8又は9記載の半導体レーザ素子。

【請求項11】 共振器面の両方に酸化物誘電体の保護膜が形成され、該酸化物誘電体保護膜の一方に、高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した多層の誘電体膜が形成された請求項1記載の半導体レーザ素子。

【請求項12】 多層の誘電体膜が形成されていない他方の酸化物誘電体保護膜上に、 Al_2O_3 、 Si_3N_4 又は SiO_2 からなる誘電体膜が形成された請求項11記載の半導体レーザ素子。

【請求項13】 共振器面の両方にフッ化物誘電体の保護膜が形成され、該フッ化物誘電体保護膜の一方に、高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層した多層の誘電体膜が形成された請求項6記載の半導体レーザ素子。

【請求項14】 多層の誘電体膜が形成されていない他方のフッ化物誘電体保護膜上に、 Al_2O_3 、 Si_3N_4 又は SiO_2 からなる誘電体膜が形成された請求項13記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光情報処理用光源として有用な半導体レーザ素子、特にGaN系青色半導体レーザ素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】青色半導体レーザは、光ディスクの高密度記録をもたらすため、次世代光ディスク用光源として多くの需要が期待されている。サファイヤ又はGaN基板上のInGaN/AlGaN/GaN系半導体レーザは、400nm帯の短波長発振が可能であり、かつ結晶欠陥の増殖速度が小さく高信頼動作が得やすいため、青色半導体レーザ用材料として、最有力視されている。

【0003】従来のGaN系青色半導体レーザとしては、例えば図7及び図8のような構造が報告されている（例えば、S.Nakamura他、Applied Physics Letters, Vol. 72, 211から213ページ、1998年）。

【0004】図7及び図8の半導体レーザは、A面（(11-20)面）サファイヤ基板6上のGaNバッファ層7、層厚3μmのn型GaNコンタクト層8、層厚0.1μ

mのn型 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層9、n型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ /Ga N 変調ドープ超格子クラッド層10、層厚0.1 μm のn型Ga N 層11、 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 量子井戸層と $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ バリア層を交互に積層した多重量子井戸活性層12、層厚0.02 μm のp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層13、層厚0.1 μm のp型Ga N 層14、p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ /Ga N 変調ドープ超格子クラッド層15、層厚0.05 μm のp型Ga N コンタクト層16を順次積層したダブルヘテロ構造結晶と、このダブルヘテロ構造結晶の一部を前記n型Ga N コンタクト層8が露出する深さまでエッチングして形成したメサ17と、このメサ17上の前記p型Ga N コンタクト層16に接して形成されたNi/Auの2層金属からなるp電極18と、前記メサ17底部の前記n型Ga N コンタクト層8に接して形成されたTi/Alの2層金属からなるn電極19とから成っている。サファイア基板6は絶縁体であるため、p電極18、n電極19は半導体層側に形成される。

【0005】この場合、サファイア基板1のRへき開面((1-102)面)と窒化ガリウム系半導体結晶のMへき開面((01-10)面)がほぼ一致するため、これらのへき開面を用いてへき開して、半導体レーザの共振器端面が得られる。さらに、共振器面の反射率を制御するため、へき開面に SiO_2 誘電体又はTi O_2 /Si O_2 多層膜誘電体22を形成する。

【0006】この半導体レーザにおいては、室温CW、2mWで1000時間の連続動作が実現されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の構造では数mWの低出力動作は可能でも、数10mWレベルの高出力動作では信頼性を確保するのが困難である。

【0008】高出力動作での信頼性は、高電流注入による結晶内部の劣化とともに、共振器面での端面破壊(Catastrophic Optical Damage: COD)によって支配される。このCOD劣化は、主に0.8~1.0 μm 帯のInGaAs/AlGaAs/GaAs系半導体レーザで報告されている現象である。レーザ端面には多くの非発光再結合準位が存在しており、その準位を介した再結合により端面近傍では注入キャリアが欠乏している。注入キャリアの欠乏は、実効的なバンドギャップを減少させるため、発振光は端面部で多くの光吸収を受ける。この光吸収は新たな電子-ホール対を生成し、非発光準位を介した再結合により端面の温度上昇をもたらす。端面温度上昇はバンドギャップの減少を誘発し、さらなる光吸収の増加をもたらす。このフィードバックループは、ある光出力以上では暴走状態となり、端面温度が結晶の融点にまで到達し、端面破壊が発生する。

【0009】この端面COD現象は最大出力だけでなく、素子の信頼性をも支配する。レーザ端面は通電によ

って酸化が進行するため、その非発光準位も通電とともに増大する。これは、エージングによって端面部での光吸収が増加することを意味し、端面COD破壊の発生する光出力レベル(以下「CODレベル」という。)の経時変化をもたらす。このCODレベルが動作光出力に等しくなった時点で突発的な端面劣化が発生する。

【0010】従来の構造でも、共振器面に SiO_2 又はTi O_2 の誘電体膜を形成しているため、端面酸化の進行によるCOD現象はある程度抑制できる。しかし、本質的な端面部での温度上昇を抑制できていないわけではない。端面の温度上昇は、半導体結晶と誘電体との相互拡散を誘発する。この相互拡散はレーザ端面近傍の結晶欠陥を増加させるため、光吸収の増加、すなわちCODレベルの低下をもたらす。こうしたバッシベーション膜と半導体表面との相互拡散による端面劣化現象は、例えば文献(電子情報通信学会論文誌 C-I Vol. J78-C-I No. 3 pp.143-149 1995)に報告されている。

【0011】Ga N 系材料は、GaAs系材料に比べて表面準位は少ない可能性はある。しかし、発振波長が短く1光子あたりのエネルギーが大きいため、数10mWレベルの高出力動作では、COD劣化は必ず問題となる。こうした、COD劣化に起因した高出力動作での信頼性低下が、従来構造の問題点であった。

【0012】そこで本発明の目的は、高出力動作においても信頼性の高いGa N 系半導体レーザ素子を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、共振器端面の少なくとも一方に、酸化物誘電体の保護膜が形成されたGa N 系半導体レーザ素子において、前記酸化物誘電体の化学式を M_mO_n 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_f° としたとき、 $\Delta H_f^\circ/m < -456 \text{ kJ/mol}$ を満たすことを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0014】また本発明は、共振器端面の少なくとも一方に、酸化物誘電体膜1と誘電体膜2が順次積層された2層の保護膜が形成されたGa N 系半導体レーザ素子において、前記酸化物誘電体膜1の化学式を M_mO_n 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_f° としたとき、 $\Delta H_f^\circ/m < -456 \text{ kJ/mol}$ を満たし、かつ前記誘電体膜2が400nm帯の発振光に対して光学的に透明な誘電体材料からなることを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0015】また本発明は、共振器端面の少なくとも一方に、酸化物誘電体膜と多層の誘電体膜が順次形成されたGa N 系半導体レーザ素子において、前記酸化物誘電体の化学式を M_mO_n 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_f° としたとき、 $\Delta H_f^\circ/m < -456 \text{ kJ/mol}$ を満たし、かつ前記多層の誘電体膜が高屈折率層と低屈折率層とを交互に積層したものであり、高屈折率層がTi O_2 、Zr O_2 又はHf O_2 であり、低屈折率層が Al_2O_3

、 SiO_2 又は Si_3N_4 であることを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0016】また本発明は、共振器端面の少なくとも一方に、フッ化物誘電体の保護膜が形成されたGa N系半導体レーザにおいて、前記フッ化物誘電体の化学式を M_nF_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 とした時、 $\Delta H_0/\text{m} < -434 \text{ kJ/mol}$ を満たすことを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0017】また本発明は、共振器端面の少なくとも一方に、フッ化物誘電体膜1と誘電体膜2が順次積層された2層の保護膜が形成されたGa N系半導体レーザ素子において、前記フッ化物誘電体膜1の化学式を M_nF_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 としたとき、 $\Delta H_0/\text{m} < -434 \text{ kJ/mol}$ を満たし、かつ前記誘電体膜2が400nm帯の発振光に対して光学的に透明な誘電体材料からなることを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0018】また本発明は、共振器端面の少なくとも一方に、フッ化物誘電体膜と多層の誘電体膜が順次形成されたGa N系半導体レーザ素子において、前記フッ化物誘電体の化学式を M_nF_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 としたとき、 $\Delta H_0/\text{m} < -434 \text{ kJ/mol}$ を満たし、かつ前記多層の誘電体膜が高屈折率層と低屈折率層を交互に積層したものであり、高屈折率層がT*

表1

	屈折率	膜厚
高 ΔH_0 誘電体膜1	n	$\lambda/4n \sim \lambda/2n$
高 ΔH_0 誘電体膜2	n	$\lambda/4n$
誘電体多層膜 高屈折率層	nH	$\lambda/4nH$
誘電体多層膜 低屈折率層	nL	$\lambda/4nL$

【0024】この構造で、前面の反射率3~32%、裏面の反射率>90%の非対称共振器が形成される。

【0025】高 ΔH_0 誘電体膜1、2としては、化学式を M_nO_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 としたとき、 $\Delta H_0/\text{m} < -456 \text{ kJ/mol}$ を満たす、表2に示すような Al_2O_3 、 Sc_2O_3 、 Y_2O_3 、 Er_2O_3 、 Tm_2O_3 、 Ho_2O_3 、 Lu_2O_3 、 Tb_2O_3 、 Sm_2O_3 、 Gd_2O_3 、 Yb_2O_3 、 Pr_2O_3 等の酸化物誘電体を用いる。

【0026】また、酸化物誘電体だけでなく、化学式を M_nF_m 、常温での標準生成エンタルピーを ΔH_0 とした時、 $\Delta H_0/\text{m} < -434 \text{ kJ/mol}$ を満たす、表2に示すような ThF_4 、 HfF_4 、 ZrF_4 、 SmF_3 、 YF_3 、 HoF_3 、 NdF_3 、 ScF_3 等のフッ化物誘電体を用いることもできる。

【0027】これらの材料は半導体レーザの発振光に対して必ずしも透明とは限らない。発振光に対して吸収損

* iO_2 、 ZrO_2 又は HfO_2 であり、低屈折率層が Al_2O_3 、 SiO_2 又は Si_3N_4 であることを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いて本発明の実施例を詳しく説明する。

【0020】図1及び図2は、それぞれ本発明の一実施例の基本構造を模式的に示している。発光ストライプ領域4を有するGa N系半導体レーザに、へき開により共振器端面を形成した後、両端面に、高い標準生成エンタルピー(ΔH_0)を有する Sc_2O_3 等の誘電体膜1、2を形成する。薄膜の形成法には、高周波スパッタ法、イオンビームスパッタ法、又は電子ビーム蒸着法を用いることができる。

【0021】さらに、片側端面には、高屈折率層と低屈折率層を交互に積層した誘電体多層膜3を形成する。高屈折率層としては TiO_2 、 ZrO_2 、 HfO_2 等を、また低屈折率層としては Al_2O_3 、 SiO_2 、 Si_3N_4 等を用いる。

【0022】ここで、各層の層厚は、発振波長 λ の半導体レーザに対しそれぞれ表1のように設定する。

【0023】

【表1】

失がある場合は、高 ΔH_0 誘電体膜1、2を1~30nm、より好ましくは1~1.0nmに薄膜化した図2の構造が望ましい。最適な膜厚は薄膜の表面の凹凸及び透明性の程度に従って設定する。

【0028】この場合、前面にはさらに Al_2O_3 、 SiO_2 、 Si_3N_4 等の400nm帯の発振光に対して光学的に透明な誘電体材料からなるカバー誘電体膜5で覆い、2層構造全体での光路長を設定反射率に応じて4分の1~2分の1波長に設定すればよい。また裏面には、同様な誘電体多層膜3を形成するが、高 ΔH_0 誘電体膜2と多層膜の第1層とから成る光路長を4分の1波長となるようにする。図2の構造では、光学的透明性が十分でなくとも、吸収損失のない非対称共振器面を形成することができる。

【0029】

【表2】

表2 各種誘電体膜の標準生成エンタルピー (ΔH_0 @297.15K)

材料	標準生成エンタルピー ΔH_0 (kJ/mol)	$\Delta H_0/m$ (kJ/1mol O, F)	Ga ₂ O ₃ , GaF ₃ の生成熱(kJ/1mol GaN)
SiO ₂	-910.7	-455.85	-248.975
TiO ₂	-944	-472	-273.95
Al ₂ O ₃	-1675.4	-558.47	-403.75
Sc ₂ O ₃	-1908.8	-636.27	-520.35
Y ₂ O ₃	-1905.3	-635.1	-518.6
Er ₂ O ₃	-1897.9	-632.63	-514.9
Tm ₂ O ₃	-1888.7	-629.67	-510.3
Ho ₂ O ₃	-1880.7	-626.9	-506.3
Lu ₂ O ₃	-1878.2	-626.07	-505.05
Tb ₂ O ₃	-1865.2	-621.73	-498.55
Sm ₂ O ₃	-1823	-607.67	-477.45
Gd ₂ O ₃	-1819.6	-606.53	-475.75
Yb ₂ O ₃	-1814.6	-604.87	-473.25
Pr ₂ O ₃	-1809.6	-603.2	-470.75
HfO ₂	-1144.7	-572.85	-424.475
ThF ₄	-2091.6	-622.9	-516.2
HfF ₄	-1930.5	-482.625	-395.375
ZrF ₄	-1911.3	-477.825	-380.975
SmF ₃	-1778	-592.67	-725.5
YF ₃	-1718.8	-572.93	-666.3
HoF ₃	-1707	-569	-654.5
NdF ₃	-1657	-552.33	-604.5
ScF ₃	-1629.2	-543.07	-576.7

【0030】次に、本発明の具体的な実施例について図3及び図4を用いて説明する。まず、A面（(11-20)面）サファイア基板6上のGa₂Nバッファ層7、層厚3μmのn型Ga₂Nコンタクト層8、層厚0.1μmのn型In_{0.1}Ga_{0.9}N層9、層厚0.4μmのn型Al_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN変調ドープ超格子クラッド層（各層の層厚はそれぞれ2.5nm）10、層厚0.1μmのn型Ga₂N層11、In_{0.1}Ga_{0.9}N量子井戸層（層厚3.5nm）とIn_{0.1}Ga_{0.9}Nバリア層（層厚10.5nm）を交互に積層した多重量子井戸活性層12、層厚0.02μmのp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層13、層厚0.1μmのp型Ga₂N層14、層厚0.4μmのp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN変調ドープ超格子クラッド層（各層の層厚はそれぞれ2.5nm）15、層厚0.05μmのp型Ga₂Nコンタクト層16を順次積層したダブルヘテロ構造結晶を形成する。結晶成長は、有機金属気相成長法（MOVPE法）を用いて行なうことができる。

【0031】次に、このダブルヘテロ構造結晶の一部を、前記p型Al_{0.1}Ga_{0.9}N層15の途中までエッチングして、発光ストライプブリッジ20を形成する。

【0032】また、前記n型Ga₂Nコンタクト層8が露出する深さまでエッチングしてメサ17を形成する。さ

らに、このメサ17上の前記p型Ga₂Nコンタクト層16に接してNi/Auの2層金属からなるp電極18を形成し、前記メサ17底部の前記n型Ga₂Nコンタクト層8に接してTi/Alの2層金属からなるn電極18を形成する。サファイア基板6は絶縁体であるため、p電極18、n電極19は半導体層側に形成される。

【0033】この場合、サファイア基板6のRへき開面（(1-102)面）と窒化ガリウム系半導体結晶のMへき開面（(01-10)面）がほぼ一致するため、これらのへき開面を用いてへき開して、半導体レーザの共振器端面が得られる。

【0034】最後に、両端面に、コーティングを行って図1又は図2に示す高ΔH₀誘電体膜1、2を含む薄膜を形成して、本発明の一実施例の構造が実現できる。また、同様な構造は、スピネル基板（MgAl₂O₄）を用いても実現できる。

【0035】図5及び図6は、本発明の別の具体的な実施例を示している。これは、Ga₂N基板上にダブルヘテロ構造を形成した例である。

【0036】Ga₂N基板は、例えば以下のような方法で実現できる。SiO₂膜を周期的に形成したサファイア基板上に、VPE又はMOVPE気相成長法を用いて膜厚100μm程度のGa₂N層を形成する。この構造で

は、成長初期に形成されたファセットの作用で、結晶転位が基板面と平行方向に延びていくため、積層方向の結晶転位は大幅に低減される。Ga_{0.9}N膜成長後、サファイヤ基板を研磨又はエッチングで除去すれば、厚膜のGa_{0.9}N基板が実現できる。

【0037】このGa_{0.9}N基板21上に、層厚0.1μmのn型In_{0.1}Ga_{0.9}N層9、層厚0.4μmのn型Al_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN変調ドープ超格子クラッド層（各層の層厚はそれぞれ2.5nm）10、層厚0.1μmのn型Ga_{0.9}N層11、In_{0.1}Ga_{0.9}N量子井戸層（層厚3.5nm）とIn_{0.02}Ga_{0.98}Nバリア層（層厚10.5nm）を交互に積層した多重量子井戸活性層12、層厚0.02μmのp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N層13、層厚0.1μmのp型Ga_{0.9}N層14、層厚0.4μmのp型Al_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN変調ドープ超格子クラッド層（各層の層厚はそれぞれ2.5nm）15、層厚0.05μmのp型Ga_{0.9}Nコンタクト層16を順次積層したダブルヘテロ構造結晶を形成する。結晶成長は、有機金属気相成長法（MOVPE法）を用いて行なうことができる。

【0038】次に、このダブルヘテロ構造結晶の一部を、前記p型Al_{0.1}Ga_{0.9}N層15の途中までエッチングして、発光ストライブリッジ20を形成する。さらに、前記p型Ga_{0.9}Nコンタクト層16に接してNi/Auの2層金属からなるp電極18を形成し、前記n型Ga_{0.9}N基板21に接してTi/Alの2層金属からなるn電極19を形成する。

【0039】最後に、へき開によりレーザ共振器を切り出し、両端面に、コーティングを行って図1又は図2に示す高ΔH₀誘電体膜1、2を含む薄膜を形成し、本発明の一実施例の構造が実現できる。

【0040】この構造は、サファイヤ基板を用いた場合に比べて、良好なへき開面を再現性よく形成できるため、量産性に優れている。

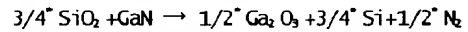
【0041】図3～図6の実施例では、共振器面をへき開により形成したが、ドライエッチングを用いて形成してもよい。

【0042】

【発明の効果】前述したように、端面を誘電体膜で保護しても端面の温度上昇に起因して半導体/誘電体間の相互拡散が発生し、通電とともにCODレベルが低下していく。この相互拡散は熱現象であるため、半導体/誘電体界面の熱力学的安定性によって左右される。界面が熱的に安定であれば、温度上昇によって相互拡散が発生しずらく、結果的にCODレベルの低下が抑制される。

【0043】材料の熱力学的安定性は、標準生成エンタルピーΔH₀を用いて考察できる。ΔH₀は材料を各構成元素から生成した場合に発生する反応熱であり、負で絶対値が大きい程、その材料の熱的安定性が高いことを示している。

【0044】また化学的な安定性もΔH₀を用いて推定することができる。例えば、従来用いられているSiO₂誘電体膜とGa_{0.9}Nが反応してGa₂O₃が生成するような以下の化学反応を考えた場合、

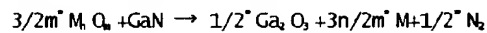


の反応での生成熱は、各材料の標準生成エンタルピーから

$$+3/4\Delta H_0(\text{SiO}_2) + \Delta H_0(\text{GaN}) - 1/2\Delta H_0(\text{Ga}_2\text{O}_3) - 1/2\Delta H_0(\text{N}_2)$$

で求めることができる。この値は-248.975kJ/molとなり、吸熱反応となるため、一般に反応は進まない。すなわちSiO₂と反応させて、1モルのGa_{0.9}Nを酸化させるためには、外部から-248.975kJの熱量が必要であり、常温では反応しづらいことを示唆している。

【0045】一般の金属酸化物M_mO_nとGa_{0.9}Nとの以下のような反応を考えた場合、



での生成熱も同様に各材料の標準生成エンタルピーを用いて

$$+3/2m\Delta H_0(\text{M}_m\text{O}_n) + \Delta H_0(\text{GaN}) - 1/2\Delta H_0(\text{Ga}_2\text{O}_3) - 1/2\Delta H_0(\text{N}_2)$$

で求めることができる。この値が負で絶対値が大きいかほど1モルのGa_{0.9}Nを酸化させるのに多くの外部熱量を必要とするため、反応が進みづらくなる。ΔH₀(GaN)とΔH₀(Ga₂O₃)は定数であるため、ΔH₀(M_mO_n)/mの値が負で絶対値が大きいかほど反応に必要な熱量が多くなる。

【0046】表2には、従来用いられているSiO₂と、本発明で用いる各種材料の、ΔH₀、ΔH₀/m、及び1モルのGa_{0.9}Nを酸化させるのに必要な外部熱量を示す。本発明で用いるSc₂O₃等の酸化物誘電体は、SiO₂のΔH₀/m=-455.35kJ/molよりも小さく、従ってGa_{0.9}Nとの反応がSiO₂に比べて進行しづらい。これは、本発明の構造を用いれば、パッシベーション膜と半導体界面との相互拡散が発生しずらくなり、CODレベルの低下を効果的に抑制できる。すなわち端面劣化のない信頼性の高い半導体レーザを実現できる。

【0047】また、酸化物誘電体だけでなく、熱的に安定なフッ化物もパッシベーション膜として用いることができる。一般の金属フッ化物M_mF_nとGa_{0.9}Nとの以下のような反応を考えた場合、



での生成熱は、各材料の標準生成エンタルピーを用いて

$$+3/m\Delta H_0(\text{M}_m\text{F}_n) + \Delta H_0(\text{GaN}) - \Delta H_0(\text{GaF}_3) - 1/2\Delta H_0(\text{N}_2)$$

で求めることができる。

【0048】表2には、本発明で用いる各種フッ化物材料の、ΔH₀、ΔH₀/m、及び1モルのGa_{0.9}Nをフッ化させるのに必要な外部熱量を示す。本発明で用いるThF₄、HfF₄、ZrF₄、SmF₃、YF₃、HoF₃、Nd

F_2 、 ScF_3 等のフッ化物では、この外部熱量が SiO_2 との反応を考えた場合より常に大きく、従って GaN との反応が SiO_2 より進みずらいことを示している。すなわち本発明のフッ化物をバッシベーション膜として用いれば、半導体界面との相互拡散が発生しなくなり、CODレベルの低下を効果的に抑制できる。ここで、対象とするフッ化物(M_nF_m)が SiO_2 に比べて GaN との反応性が低くなるためには、 $+3/m\Delta H_f(M_nF_m) + \Delta H_f(GaN) - \Delta H_f(CaF_2) < +3/4\Delta H_f(SiO_2) + \Delta H_f(GaN) - 1/2\Delta H_f(Ca_3O_3)$ 、すなわち $\Delta H_f(M_nF_m)/m < -43.3.825 \text{ kJ/mol}$ を満足すればよい。

【0049】表2に示した酸化物及びフッ化物誘電体は $0.4 \sim 0.5 \mu m$ 帯で常に光学的に透明であるとは限らない。この場合、本発明の第二の実施例(図2参照)のように高 ΔH_f 誘電体膜1、2を 10 nm 以下とすれば、薄膜での吸収損失を実用上問題とならないレベルに抑制することができる。第二の実施例でも半導体と接しているのは、熱的に安定な高 ΔH_f 誘電体膜であるため、カバー用の誘電体膜5との相互拡散は発生せず、端面劣化は発生しない。一方、共振器面の反射率はカバー用の誘電体膜5でコントロールできるため、非対称共振器による高いスロープ効率を実現できる。

【0050】以上、本発明を用いれば、端面劣化のない信頼性の高い青色半導体レーザを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例の基本構造を示す断面図である。

【図2】本発明の別の実施例の基本構造を示す断面図である。

【図3】本発明の一実施例を示す構造断面図(共振方向に垂直な断面)である。

【図4】本発明の一実施例を示す構造断面図(共振方向に平行な断面)である。

10

1 高 ΔH_f 誘電体膜(前面)2 高 ΔH_f 誘電体膜(裏面)

3 誘電体多層膜

4 発光ストライプ領域

5 カバー誘電体膜

6 A面(11-20面)サファイア基板

7 GaNバッファ層

8 n型GaNコンタクト層

9 n型 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層10 n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ /GaN超格子クラッド層

20

11 n型GaN層

12 多重量子井戸活性層

13 p型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 層

14 p型GaN層

15 p型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ /GaN超格子クラッド層

層

16 p型GaNコンタクト層

17 メサ

18 p電極

30

19 n電極

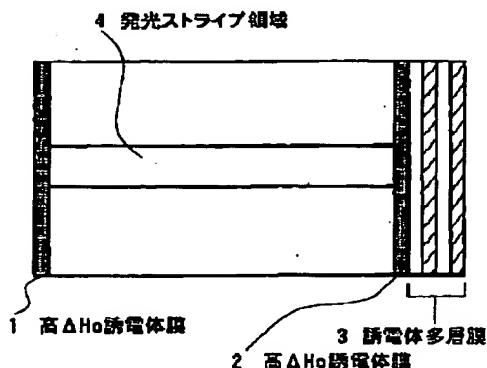
20 発光ストライプブリッジ

21 n-GaN基板

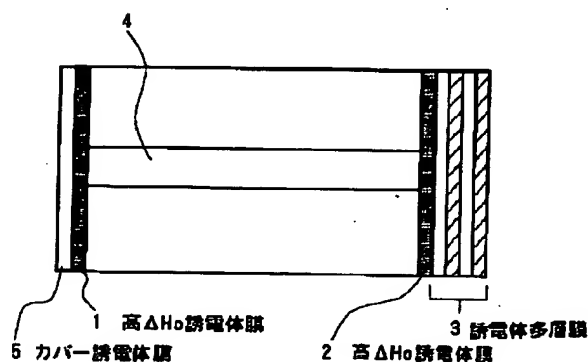
22 SiO_2/TiO_2 反射多層膜

*

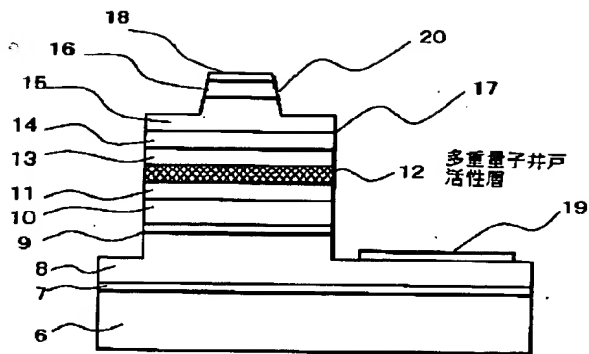
【図1】



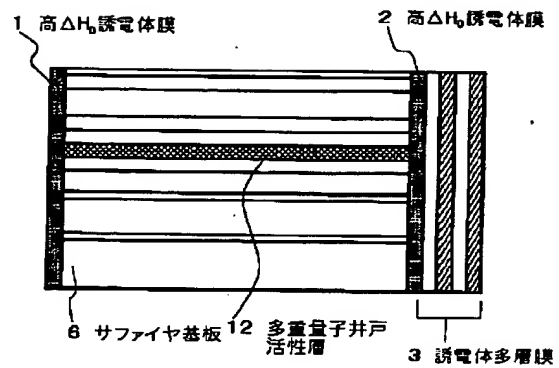
【図2】



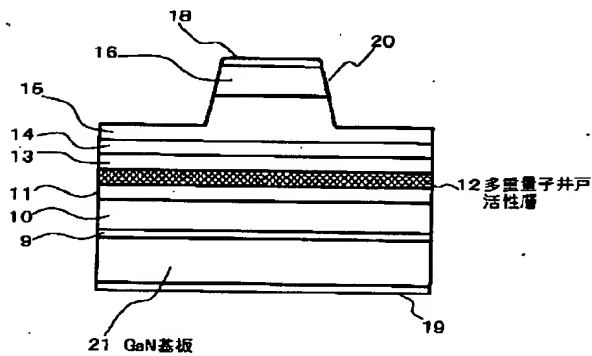
【図3】



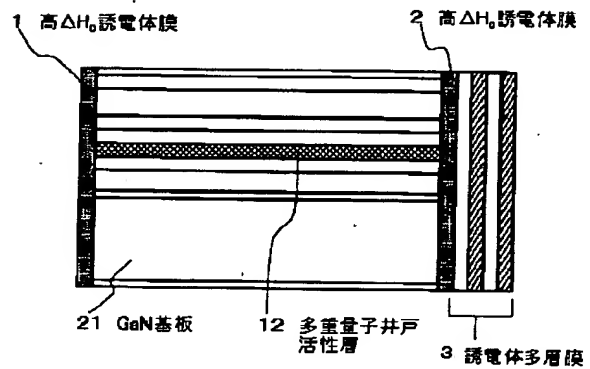
【図4】



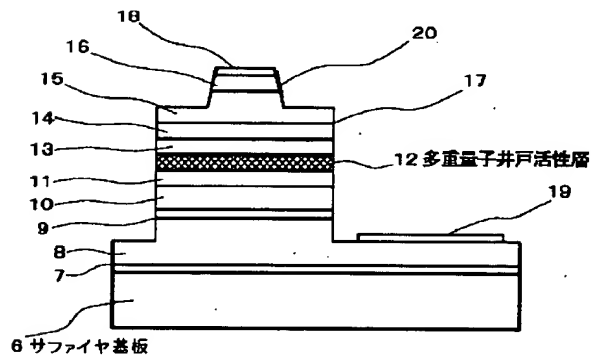
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

